

OPINNÄYTETYÖ
MIKKO YLIPULLI 2013

**LENTOLASERKEILAUKSEN
HYÖDYNTÄMINEN
RAKENNUSVALVONTAMITTAUKSISSA**



**Rovaniemen
ammattikorkeakoulu**
University of Applied Sciences
LUC

MAANMITTAUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA



ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Maanmittaustekniikka

Opinnäytetyö

LENTOLASERKEILAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUSVALVONTAMITTAUKSISSA

Mikko Ylipulli

2013

Toimeksiantaja Kuopion kaupunki, Maaomaisuuden hallintapalvelut

Ohjaaja Pasi Laurila

Työ on Theseus-verkkokirjastossa.

Tekijä	Mikko Ylipulli	Vuosi 2013
Toimeksiantaja	Kuopion kaupunki	
Työn nimi	Lentolaserkeilauksen hyödyntäminen rakennusvalvontamittauksissa	
Sivu- ja liitemäärä	28	

Lentolaserkeilauksella tuotetaan kolmiulotteista tietoa maan pinnasta. Ilmalaserkeilaus on mittaustapana suhteellisen uusi, mutta sen käyttö on lisääntymässä paikkatiedon hankintamenetelmänä. Laserkeilauksen lopputuotteena saadaan aikaan pistepilvi, jonka pisteiden taso-, ja korkeuskoordinaatit tunnetaan.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, mitä hyötyä lentolaserkeilauksesta saadaan rakennusvalvonnan mittauksissa. Rakennusvalvonnan mittauksiin kuuluu rakennuksen paikan merkintä, koron vienti sekä rakennuksen valmistumisen jälkeen tehtävä sijaintikatselmus. Tutkimukseni pureutuu sijaintikatselmukseen, ja pyrin saamaan selville, onko mahdollista saada tietoon rakennuksen todelliset seinälinjat lentolaserkeilausta hyödyntäen. Työssä selvitetään, onko mahdollista saada selville rakennuksen seinälinjojen tasosijainti lentolaserkeilauksesta muodostettujen räystäslinjojen avulla. Työn tarkoitus on auttaa myös muita kuntia hyödyntämään lentolaserkeilausaineistoa rakennusvalvonnan tarpeissa.

Tutkimukseni perustuu vuonna 2012 Kuopion kaupungille tehtyyn lentolaserkeilaukseen. Tutkimuksessa hyödynnettiin keilaushankkeen lopputuotteita, keilauksen myötä syntyneitä raportteja, sekä maastossa tehdyn tutkimuksen aineistoa. Perustiedon ja teorian hankintaan on käytetty internetiä ja kirjallisuutta.

Tutkimus jakaantuu kahteen osaan. Osa tutkimuksesta suoritettiin maastossa, jossa suoritettiin tarvittavat käytännön mittaukset. Jälkimmäinen osa tutkimuksesta tapahtui toimistolla, jossa suoritettiin tarvittavat laskutoimitukset ja tulkinnat.

Author	Mikko Ylipulli	Year 2013
Comissioned by	Kuopio municipality	
Subject of thesis	Applicability of Airborne Laser Scanning in Municipality Inspection of Construction Measurements	
Number of pages	28	

Airborne laser scanning is a way to produce three-dimensional spatial data of the surface. Laser scanning is a relatively new way to acquire 3D information, but it is becoming more and more popular in municipalities. The final product of the airborne laser scanning is a point cloud, in which each point has a known x,y,z position.

The purpose of this thesis was to explore how the airborne laser scanning data can be exploited for municipality inspection of construction surveys. Inspection of construction surveys includes construction marking, defining the level of the worksite, and the final locationing of the building. This study tried to determine is it possible to determinate the real wall lines of the building using the laser scanned data of the eave lines. The purpose of the study was also to help other municipalities to exploit airborne laser scanning data in inspection of construction measurements.

The study was based on field research, and the airborne laser scanning which was made to the Kuopio municipality in the year 2012. The final products of the laser scanning and the reports were used in this study.

The study is divided into two parts. The first part of the study was done in the field, where the necessary practical measurements were done. The second part of the study took place in the office, where the necessary calculations and interpretations were done.

Sisällys

1 Johdanto	1
1.1 Tutkittava alue	1
1.2 Tutkimuksen otoksen koko	2
2 Laserkeilaus	4
2.1 Lentolaserkeilaus	4
2.1.1 Pistetiheys	7
2.1.2 Kalibrointimittaukset	7
2.1.3 Formaattit	8
2.1.4 Laserkeilausaineiston käsittelyohjelmat	8
2.2 Lentolaserkeilaus vai ilmakuvauus	9
2.3 Kuopion, Siilinjärven ja Nilsiäen lentolaserkeilaus vuonna 2012	10
3 Rakennusten vektorointi	12
4 Tutkimus maastossa	15
4.1 Maastokatselmus	15
4.2 Mittausten aloitus	15
4.3 Mittausten jatko	16
4.4 Mittausten lopetus	17
4.5 Rästaslinjat	17
5 Kavennuksen tutkimus	18
5.1 Mitattujen sekä vektoroitujen rästaslinjojen yhteneväsyyss	20
5.2 Muuntaminen käytettävään muotoon	20
5.3 Kavennuksen virhe	21
5.4 Pienet rakennukset	23
6 Rakennusten pinta-alat	24
7 Loppupäätelmät	25
Lähteet	27

1 Johdanto

Suomessa on viime vuosina tapahtunut runsaasti kuntaliitoksia. Viimeisen seitsemän vuoden aikana kuntaliitoksia on tapahtunut 69, mikä tarkoittaa, että kuntien määrä on tänä aikana vähentynyt neljänneksellä (kunnat.net 10.10.2013). Kuntaliitokset tuovat mukanaan erilaisia ongelmia kartastojen sekä muun paikkatiedon kanssa. Monissa kunnissa esimerkiksi rakennusten sijaintitieto syrjäseudulla on hataraa.

On selvittävä, kuinka saada kartastojen puutteet korjattua kuntaliitoksen tapahduttua. Yksi mahdollinen keino on laittaa työntekijä maastoon mittaamaan puutteet tai ne voidaan korjata esimerkiksi lentolaserkeilausta hyödyntämällä. Mikäli rakennuksia halutaan kartoittaa lentolaserkeilausta hyödyntämällä, ei rakennuksista saada kartalle helposti kuin räystäslinjat. Kunnan rakennusvalvonta tarvitsee tietoonsa rakennusten seinälinjat. Opinnäytetyöni käsittelee, kuinka saada rakennusten seinälinjat kartoitettua ilman, että niitä käydään fyysisesti paikanpäällä mittaamassa.

Pyrin saamaan selville, onko mahdollista muodostaa lukuarvo, jolla lentolaserkeilauksesta saatavia räystäslinjoja voidaan kaventaa rakennusten todellisten seinälinjojen sijaintitiedon saavuttamiseksi.

1.1 Tutkittava alue

Tutkittava alue sijaitsee Kuopion Tahkovuoren loma-alueella. Alue valittiin tutkimukseen siksi, että alueelle on tulossa asemakaavamuutos. Muutos koskee kortteleita 122 ja 123. Muutoksella pyritään nostamaan alueen käytön tehokkuutta nostamalla sen rakennusoikeutta. Alue on lentolaserkeilattu vuonna 2012, ja alueelta on olemassa tuore ilmakekuva. Alueen kantakartta ei ole asemakaavan edellyttävällä tasolla. Mittausten yhteydessä mitattiin myös rajapyykit. Rakennukset ovat stereodigitoitu ilmakekuvasta, eikä niiden sijaintitieto ole tarkkaa. Alue kuuluu mittausluokkaan 2.

”Taajama-alueet, joilla maa on arvokasta, rakentaminen pientalovaltaista mutta suhteellisen intensiivistä. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on yleensä ohjeellinen tonttijako.

Näitä ovat pienempien kuntien keskusta-alueet ja muut taajamat. Näihin kuuluvat myös loma-asumista tarkoittavat kaava-alueet, joille suunnitellaan runsaasti rakennusoikeutta” (Kaavoitusmittausohjeet 2003, mittausluokka 2).

Mittausluokassa 2 mittausten tarkkuus tulee olla rakennusten osalta 0,5 metriä, ja rakennuksen yksityiskohtien tulee olla kartalla metrin tarkkuudella. Tutkimuksessa pyritään selvittämään, onko rakennusten räystäslinjoista mahdollista laskea yleispätevää kavennusta. Tällöin tavoiteltu tarkkuus on mittaluokkaa 1e. Tässä luokassa rakennusten tulee olla kartalla 0,15 metrin tarkkuudella, ja niiden yksityiskohtien 0,15 metrin tarkkuudella. Todennäköisempää on, että tutkimuksessa päästään mittausluokan 1 mukaiseen tarkkuuteen. Tässä luokassa rakennusten tulee olla kartalla 0,15m tarkkuudella, ja yksityiskohtien 0,3 metrin tarkkuudella. (Kaavoitusmittausohjeet 2003.) Tutkimuksesta tuotettua tulosta tullaan käyttämään muillakin alueilla, mikäli virhe ei ole liian suuri. Tutkittavan alueen rakennuskanta on loma-asutteista. Lomarakennukset sisältävät enemmän katoksia kuin tavanomaiset asuinkäyttöön suunnitellut rakennukset. Katosten määrää lisää se, että rakennukset jakaantuvat pääosin kahteen osaan. Tutkimuksesta saadaan myös muuta tietoa, mikä voi hyödyttää rakennusvalvontaa. Tietoon saadaan rakennusten räystäspinta-alasta kavennetun ja todellisen pinta-alan suhde.

Tutkimuksessa olisi voitu tutkia myös rakennusten räystäslinjojen korkeutta. Tutkimusta kuitenkin rajattiin, eikä korkeutta otettu mukaan tutkimukseen. Pisteissä on mukana myös korkeus, mutta sen oikeellisuuteen ei ole kiinnitetty huomiota.

1.2 Tutkimuksen otoksen koko

Tutkimuksesta pyritään saamaan mahdollisimman yleispätevää tietoa. Tällöin tutkittavia rakennuksia täytyy olla riittävä määrä suhteutettuna kaupungin koko rakennuskantaan. Otoksen koko valittiin kaupungin muuttujatarkistuksen näytekokoon (Taulukko 1) taulukon mukaan.

Taulukko 1. Muuttujatarkistuksen näytekoko. Kohteiden määrä kuvaa kaupungissa olevien rakennusten rakennusviivojen ja näytekoko tutkimukseen vaadittavien rakennusviivojen lukumäärää.

Kohteiden määrä	Näytekoko (tarkistustaso II, s-metodi)
2...8	3
9...15	3
16...25	4
26...50	6
51...90	9
91...150	13
151...280	18
281...500	25
501...1200	35
1201...3200	50
3201...10000	70
10001...35000	95
35001...150000	125
150001...500000	160
>500000	200

Kun Kuopion kaupungin rakennuskannasta poimitaan kaikki rakennusten seinäviivat, kokonaismääräksi saadaan 225 572 vektoriviivaa. Kun lukumäärää vertaillaan muuttujatarkistuksen näytekoko taulukkoon, vaaditaan tutkimukseen 160 vektoriviivaa. Otoksen koko ylittää vaaditun viivakoon reilusti, sillä mukana on 112 rakennusta. Tutkimuksessa on myös mukana rakennusten katoslinjat.

2 Laserkeilaus

Laserkeilaus on aktiivinen kaukokartoitusmenetelmä, jossa saadaan lasersäteiden avulla kolmiulotteista tietoa kohdetta koskettamatta. Laserkeilausta sovelletaan monenlaisissa mittauksissa. Mittaustapoja voi olla maalaserkeilaus, lentolaserkeilaus tai mobiilikeilaus. (Maanmittauslaitos 2013.)

Mitattavan kohteen koordinaatit saadaan laskettua lasersäteen lähtökulmien ja etäisyshavainnon perusteella. Laserkeilaimet jaetaan kahteen päätyyppiin, laitteen etäisyydenmittausominaisuudesta riippuen. (Maanmittauslaitos 2013.)

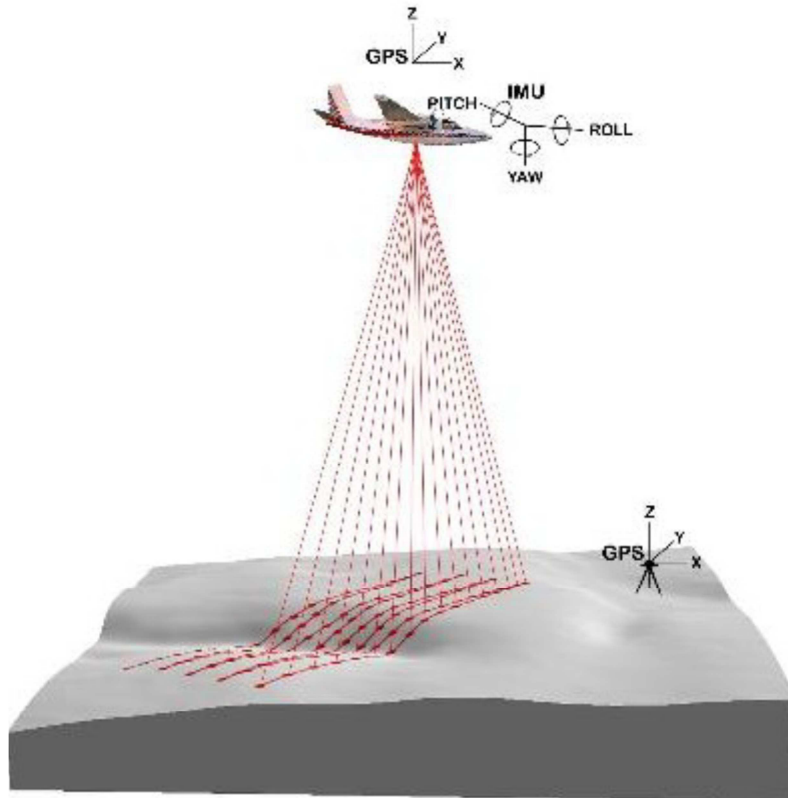
Pulssilaserkeilaimen etäisyydenmittaus perustuu kohteesta heijastuvan säteen kulkuajan määrittämiseen. Kun tiedetään laserpulssin kulkuun käytetty aika, saadaan määritettyä etäisyys. Vaihe-erolaserkeilaimen lähettämä signaali on jatkuvaa ja muodoltaan aaltoilevaa. Signaali sisältää useampia kantoaallonpituuksia. Etäisyshavainto määritetään lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-eron, sekä aallonpituuksien moduloinnin avulla saatavan kokonaisluku-tuntemattoman perusteella. (Ketonen 2013.) Laserkeilaimilla on eri käyttötarkoituksensa. Pulssilaserkeilaimien mittausetäisyys on useita satoja metrejä. Vaihe-erokeilaimien soveltuvat parhaiten lyhyellä etäisyydellä sijaitsevan kohteen mittaamisen.

Eri mittausmenetelmille on olemassa omia laserkeilaimia. Maalaserkeilauksessa keilain asetetaan kolmijalan päälle. Keilain pannaan mittaamaan haluttua kohdetta, ja laitteen mittaama pistepilvi saadaan oikaistua koordinaatistoon mittaamalla alueelta liitospisteitä takymetria käyttäen. Mobiilikeilauksessa keilain asetetaan liikkuvaan autoon tai esimerkiksi junanvaunuun. Tässä mittaustavassa tasokoordinaatit saadaan GPS- laitteella, joka on kiinnitettynä kulkuneuvoon. (Geotrim 2013.)

2.1 Lentolaserkeilaus

Lentolaserkeilaus (airborne laser scanning, lyhennettynä ALS, myös ilmalaserkeilaus) on kaukokartoitustekniikka, jota käytetään pinnanmuotojen, kasvillisuuden, kaupunkialueiden, jään ja infrastruktuurin mallintamiseen. (Lehtonen, 2013.) Lentolaserkeilauksessa keilain pyyhkäisee laserpulsseja lentosuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Lentolaserkeilauksessa

ilma-aluksen ja laserkeilaimen tarkka asento ja sijainti määritetään inertiamittausjärjestelmää (Inertial Measurement Unit) sekä satelliittipaikannusta käyttäen. Inertiamittausjärjestelmä havainnoi ja tallentaa tiedon keilaimen asennosta ja sen muutoksista. GPS- laitteella määritetään keilaimen tarkka sijainti käyttäen apuna maan pinnalla olevaa vastaanotinta. (Lehtonen 2013.)



Kuvio 1. GPS –paikannuksen ja inertiamittausjärjestelmän periaate. (Juho Lampinen 2011)

Lentolaserkeilaukset suoritetaan joko lentokoneesta tai helikopterista. Lentokone on tehokas vaihtoehto kun halutaan laserkeilata laajoja alueita. Helikopteri mahdollistaa matalamman lentokorkeuden. Lentokorkeus on tärkeässä asemassa sen kannalta, kuinka suuri pistetiheys keilausaineistoon halutaan. Lentokoneesta keilattaessa pistetiheys on yleensä välillä 0,7-10 pistettä/m². Lentokorkeudet ovat tällöin välillä 0,6- 2 kilometriä. Helikopterilla päästään huomattavasti tiheämpään, jopa 30 pistettä/m², lentokorkeuden ollessa tällöin 0,15 kilometriä. Tarkkuuteen vaikuttaa myös lentonopeus, pulssitiheys, keilauskulma sekä laserkeilanleviäminen. (Rönnholm – Haggren 2004.) Luon-

nollisesti myös kaluston laatu eli IMU- järjestelmän sekä GPS- laitteiston tarkkuus vaikuttavat lopputulokseen. Mikäli lentoradat ovat mutkittelevia, soveltuu helikopteri alueen keilaukseen paremmin kuin lentokone.

Lentolaserkeilaukselle suotuisin vuodenaika on kevät ja syksy. Tällöin puissa ei ole lehtiä, maan pinnalla ei ole lumipeitettä ja alueen aluskasvillisuus on vähäistä. Lentolaserkeilaus ei ole samalla tavalla säästä riippuvainen kuin ilmakuvauus. Lentolaserkeilaus voidaan suorittaa mihin vuorokaudenaikaan hyvänsä. Lentolaserkeilauksen yhteydessä otetaan usein myös ilmakuvaa. Tämä on tilaajalle edullisempi keino saada ilmakuvaa alueelta, sillä ilmakuvauus tehdään laserkeilauksen kanssa samanaikaisesti.

Nykyiset laserkeilaimet pystyvät tallentamaan vähintään ensimmäisen (First pulse) ja viimeisen pulssikaiun (Last pulse) sekä intensiteettitietoa. Laserpulssi voi matkallaan osua useampaan kohteeseen. First pulse kaiut kimpoavat ensimmäisestä kohteesta johon ne osuvat. Last pulse kaiut taas tulevat myöhemmin. Last pulse kaiut menevät läpi puun latvustosta, ja kimpoavat takaisinmaan pinnalta. (Rönholm – Haggren 2004.)

Lentolaserkeilauksen jälkeen tehdään tarvittavat GPS- ja inertialaskennat. Laskentojen jälkeen seuraa jonojen tasoitus. Jonojen tasoituksen tehtävänä on sovittaa laserkeilausjonot toisiinsa ja poistaa systemaattisia virheitä. Systemaattisten virheiden poistaminen tapahtuu ennen keilausta mitattujen maastotukipisteiden avulla. Maastotukipisteitä tulee olla mitattuna alueelle riittävä määrä. Korkeus voidaan myös kalibroida esimerkiksi järvien ja teiden pinnan korkeusinformaatiolla. Tasokoordinaattien virheet voidaan taas korjata esimerkiksi rakennuskulmien avulla. Keilausjonot liitetään yhteen tunnettujen yhteisten liitospisteiden avulla. (Rönholm – Haggren 2004).

Mitattavasta kohteesta josta laserimpulssi heijastuu, tiedetään koordinaatit. Muodostuvaan pistepilveen käytetään eri luokituksia joilla kohteesta saadaan informaatiota. Luokitukset perustuvat korkeuteen maanpinnasta. Näin pistepilvi saadaan jaettua esimerkiksi matalaan kasvillisuuteen, rakennuksiin tai puustoon. Aineistoa voidaan siis suodattaa sopivaksi esimerkiksi pelkkää korkeusmallia varten. Tällöin aineistosta poistetaan rakennukset ja puusto.

2.1.1 Pistetiheys

Lentolaserkeilauksen pistetiheyteen vaikuttaa siis lentokorkeus. Tiheyteen vaikuttaa myös käytettävän laserkeilaimen pulssintoistotaajuus, lentonopeus, sekä lentolinjojen peittoprosentti.

Keskimääräinen pistetiheys voidaan laskea seuraavasti:

$$(\text{tiheys pistettä/m}^2) = f \div (2 * (\tan \alpha) * h * v)$$

jossa: f on pulssin toistotaajuus (n/s)

α on keilan maksimipoikkeama nadiirista

h on lentokorkeus (m)

v on lentonopeus (m/s).

Saavutettavaa pistetiheyttä rajoittavat maaston peitteisyys, topografia ja kohteen heijastusominaisuudet (Ruuskanen 2010, 21). Maaston peitteisyydestä ja topografiasta aiheutuu aineistoon katvealueita. Mikäli keilattava pinta on kiiltävä tai kostea, se saattaa aiheuttaa peiliheijastuksen, jolloin pulssia ei saada rekisteröityä vastaanottimessa.

Käytetty lentokorkeus vaikuttaa moneen asiaan laserkeilaushankkeessa. Lentokorkeutta voidaan pitää kompromissina keilauksen tarkkuuden ja hinnan välillä. Keilattaessa lentokoneesta lentokorkeus vaihtelee 500- 4000 metrin välillä. Jos käytössä on helikopteri, käytetään 60- 500 metrin lentokorkeuksia. (Ruuskanen 2010,23.)

Laserkeilaimen keilaustaajuus pysyy keilauksen aikana yleensä vakiona. Tällöin lentokorkeus yhdessä keilauskulman kanssa määrittää keilattavan linjan leveyden ja pistetiheyden maassa. Kun lentokorkeus on suuri, pystytään suuria alueita keilaamaan yhdellä kerralla (Ruuskanen 2010,23). Ihannetilanne onkin, että keilaus suoritetaan niin korkealta kuin tarkkuus- ja laatuvaatimukset sallivat.

2.1.2 Kalibrointimittaukset

Kalibrointimittauksilla tarkoitetaan laserkeilausaineiston tarkkuuden arvioimiseksi suoritettuja geodeettisia mittauksia, joista saatua tietoa käytetään pis-

tepilven paikalliseen koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään orientointiin (Ruuskanen 2010,26). Kalibrintipisteitä on kahta lajia, korkeus- ja tasokorjauspisteitä. Korkeuspisteitä mitataan tavallisesti tasaisilta ja hyvin heijastavilta pinnoilta, esimerkiksi asfaltilta. Pisteitä mitataan aukeilta paikoilta, jossa niitä mitataan vähintään 5*5 kokoiseen ruudukkoon maaston sen salliessa. Mikäli laserkeilausaineiston korkeustarkkuus on virheellinen, voidaan korkeus muuttaa paikalliseen tunnettuun korkeuteen. (Ruuskanen 2010, 26-27.)

Sopivien tasokorjauspisteiden löytäminen on hankalampaa kuin korkeuskorjauspisteiden. Esimerkiksi ojien risteyskohtia voi käyttää, mutta niissäkin mitaajan tulkinta ojan keskilinjasta voi vaihdella. Laserkeilauksen tasosijainti onkin huomattavasti riippuvaisempaa GPS- ja IMU- havainnoista kuin korkeussijainti. (Ruuskanen 2010, 26-27.)

2.1.3 Formaattit

Laserpisteiden tiedonsiirrossa käytetään yleisesti binääristä LAS- formaattia. Tätä formaattia tukevat yleisesti käytössä olevat kartta- ja GIS- sovellukset. Mikäli pistemäärä on pieni, se voidaan siirtää myös tekstitiedostona. Vektorimuotoista tietoa voidaan parhaiten siirtää dgn- ja dwg- kuvatiedostoina tai yleisesti käytetyissä kartoitusformaateissa. Kuvaformaattina on yleisesti tiheästi pakatut ECW- ja JPEG2000-formaatit. (Korpela 2008.)

2.1.4 Laserkeilausaineiston käsittelyohjelmat.

Keilausaineiston käsittelyyn on olemassa maksullisia ja maksuttomia ohjelmia. Suomalainen Terrasolid on maailmanlaajuisesti johtava laserkeilausohjelmistojen valmistaja. Yhtiöllä on asiakkaita yli sadassa maassa, ja sen markkinaosuus alalla on 80 prosenttia. Terrasolid- ohjelmien käyttäjiä ovat kunnat, yksityiset insinööritoimistot sekä konsultit. Suunnittelu tapahtuu kolmiulotteisesti Microstation CADissa, jonka merkittävimpiä käyttäjiä ovat Suomessa kuntien teknisen toimen laitokset. (Lehtonen 2010, 11-12.) Terrasolid on siis yleisin ohjelmisto pistepilven käsittelyyn, mutta markkinoilla on myös muita ohjelmistoja. Yleensä laserkeilaimia myyvillä laitemerkeillä on oma ohjelmansa pistepilven käsittelyyn.

Laserkeilausaineiston käsittelyyn tarkoitettuja ohjelmia on olemassa useita. Ne ovat kuitenkin käyttömahdollisuuksiltaan varsin rajallisia. Ilmaisohjelmat

perustuvat avoimeen lähdekoodiin. Ohjelmilla pystyy esimerkiksi tarkastelemaan aineistoa pystymättä muokkaamaan sitä. (Lampinen 2011, 13-14.)

2.2 Lentolaserkeilaus vai ilmakuvaus

Lentolaserkeilauksella ja ilmakuvausella on kummallakin omat etunsa. Nämä kaukokartoitustekniikat ovatkin kilpailijoita keskenään. Lentolaserkeilauksen suurin etu on sen korkea pistetiheys etenkin peitteisillä alueilla. Osa pisteistä heijastuu takaisin jo puiden latvustoista, mutta osa pisteistä saavuttaa maanpinnan ja tulee takaisin last pulse pisteinä. Ilmakuvakartoitus on metsäisellä alueella hankalaa (Rönnholm – Haggren 2004). Kun korkeustietoa hankitaan ilmakuvalta, on myös inhimillisen virheen riski suurempi. Laserkeilausaineiston luokittelu tapahtuu hyvin pitkälti automaattisesti. (Lampinen 2011,9.) Näin virheet saadaan karsittua, ja ilmenneet virheet suodatettua. Lentolaserkeilaus ei ole myöskään yhtä riippuvainen sääolosuhteista kuin ilmakuvaus. Keilaus voidaan suorittaa myös pilvisellä tai hämärässä. Lumi on poikkeus, koska se voi heijastaa laserpulssin takaisin.

Ilmakuvan sisäinen geometria on erittäin hyvä. Tekstuurin yksityiskohtaisuus tekee sen tulkinnan ja yksityiskohtien esittämisestä helppoa. Ilmakuvien tulkintaan perustuva tekniikka on ollut käytössä jo pitkään, joten sen tuntemus sitä käyttävissä organisaatioissa on hyvää. (Rönnholm – Haggren 2004.) Kun ilmakuvaus yhdistetään laserkeilaukseen, saadaan käyttöön paras ratkaisu, jossa kummankin kartoitustekniikan hyvät puolet yhdistyvät.

Lentolaserkeilaus on suhteellisen kallista. Mikäli keilataan lentokoneella suuria 50–100 km² alueita, on keilaus edullisempaa. Helikopterikartoituksissakin alueen on syytä olla vähintään 200 hehtaaria, jotta lentolaserkeilaus olisi taloudellisesti järkevää. (Korpela 2008, 37.) Arvioitaessa lentolaserkeilauksen hintaa rahallisesti, liikutaan hinnoissa 100 000 euron kummallakin puolella. Tutkimukseni perustuu Kuopion, Siilinjärven ja Nilsin lentolaserkeilaukseen vuonna 2012. Keilaus oli kooltaan 120 km², ja se tuli maksamaan 151,900 euroa (Nilsin kaupunki, ympäristölautakunta 2012). Hinta riippuu siis oleellisesti siitä, kuinka suuri keilattava alue on, mikä on keilattavan alueen pistetiheys, ja mitä lopputuotteista siitä halutaan.

Laserkeilausaineistoa ei kannata hankkia pelkästään perinteistä kartoitusta varten. Järkevästi käytettynä laserkeilaus maksaa itsensä takaisin. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii Ylivieskan kaupunki, jossa laserkeilaus on maksanut itsensä jo monin kerroin takaisin. Keilausaineistoa on myyty muun muassa Tiehallinnolle, Ympäristökeskukselle tulvaselvityksiin, paikalliselle jätehuolto-yhtiölle, teollisuudelle ja yksityisille rakentajille. Myös hyöty kunnalle on ollut suuri, ja keilaus on vähentänyt maastossa käyntejä huomattavasti. (Korpela 2008, 38.)

Mikäli kunta päätyy ostamaan keilauksen, on järkevää vaatia täydet oikeudet sen käyttöön ja jälleenmyyntiin. Näin aineistoa voivat hyödyntää myös muut organisaatiot tai yksityiset toimijat. Mikäli oikeuksia ei ole kuin aineiston käyttöön, ei sitä voida ilman työn suorittajan lupaa myydä eteenpäin. Tällöin oikeudet täytyy erikseen hankkia, mistä koituu keilauksen tilaajalle lisäkustannuksia. (Lampinen 2011, 10.)

2.3 Kuopion, Siilinjärven ja Nilsin lentolaserkeilaus vuonna 2012

Kuopio julkaisi huhtikuussa 2012 tarjouspyynnön, jossa haettiin urakan suorittajaa koskien Kuopion, Siilinjärven ja Nilsin lentolaserkeilausta. Aineistoa suunniteltiin käyttää kantakartan (1:1000) uudistamiseen, maastokohteiden ja korkeuskäyrien tuottamiseen, sekä maankäytön suunnittelun ja rakentamisen tarpeisiin. Tavoitteena oli saada vähintään Kaavoitusmittausohjeet 2003 luokan 1 mukainen kantakartan tarkkuus aineiston pohjalta tuotetulle kartta-aineistolle. Keilausaineistosta tuotetulla maastomallilla saa olla korkeintaan 10 senttimetrin korkeusvirhe. Laserpisteaineiston karsimattoman pistetiheyden tuli olla vähintään 10 pistettä / m² koskien peitteettömiä alueita. Lentojonojen tuli olla suoria, eikä luovutettavaan aineistoon saanut tulla kaarron aikana tuotettua aineistoa. Laserkeilattavien alueiden kokonaispinta-ala on noin 120 km². Tarjouspyyntöön kuului myös ilmakuvien tuottaminen halutuilta alueilta (Kuopion, Siilinjärven ja Nilsin laserkeilaus 2012 tarjouspyyntö). Kyseessä oli siis kolmen kaupungin yhteistilaus lentolaserkeilaukselle. Lopputyön lopuksi keilaukseen tuli mukaan myös Suonenjoki.

Urakan tekijäksi valittiin helsinkiläinen Terratec Oy. Työ lähti liikkeelle siitä, että konsultti mittasi alueilta tukipintoja ja tukipisteitä. Tukipisteitä mitattiin kaiken kaikkiaan 77, joista käytössä oli 35. Laserkeilaukset suoritettiin lento-

koneella, ja käytössä oli Leican ALS-70 keilain. Lentokorkeus oli noin 700 m ja nadiirissa vähintään 10 pistettä/m². Avauskulma oli 30 astetta ja suunniteltu taajuus 120 kHz. Keilauksen yhteydessä otettiin samanaikaisesti digitaaliset ilmakuvat Leica RCD30 kameralla. (Terratec loppuraportti.)

Kerätty raakadata prosessoitiin georeferoiduksi pistepilveksi lähtien laserkeilausaineistosta, GPS/IMU- aineistosta ja tukipinnoista ja tukipintakohteista. GPS/IMU laskenta tehtiin ilman maatumiasemia TerraPOS PPP ohjelmistolla, joka tuottaa 3-5 senttimetrin tarkkuuden. Terratec oli aineistoa prosessoidessaan huomannut kaksi pientä aukkoa, jotka se oli korjannut kesällä suoritettulla paikkolennolla. Pistetihennys tehtiin Match AT-ohjelmistolla, jonka lähtöaineistona käytettiin digitaalisia ilmakuvia, GPS- dataa, sekä signaalien koordinaatteja. (Terratec loppuraportti.)

Ortokuvat on prosessoitu OrthoPro-ohjelmistolla, jonka pohjalla oli laserkeilauksen aikana kuvattuja Digitaalisia RBG-kuvia sekä keilausaineistosta luokiteltu maanpintamalli. Kuvat toimitettiin saumattomana ja sävykorjattuina värikuvina 10 cm:n pikselikoolla. Ortomosaikkin valmistuksessa on käytetty kuvien keskiosia. Ensimmäinen versio ei kelvannut tilaajalle, johtuen kuvien huonosta valotuksesta. Ongelma johtui raakakuvien prosessoinnista, joka suoritettiin uudelleen. Ilmakuvat toimitettiin tilaajalle tilaajan haluamassa koordinaatistossa yhdessä kattavassa ECW-tiedostossa. (Terratec loppuraportti)

Terratec ei tuottanut ilmakuvia Nilsiän alueelta, sillä käytössä oli Blom kartta oy:n tuottama ilmakeku. Kuvaukset on suoritettu 25.05.2012 ja 31.05.2012. Kuopion kaupunki prosessoi nämä kuvat itse käyttäen TerraSolidin TerraPhoto-ohjelmistoa. Prosessoinnissa hyödynnettiin myös TerraTecin toimittamaa laserkeilausaineistoa. Ortomosaikki valmistettiin 10 cm:n pikselikoolla. Ilmakuvista pyrittiin rakentamaan mahdollisimman tarkka ortokuva, missä käytettiin vain kuvien keskiosia. Tällä pyrittiin minimoimaan ortokuvien korkeiden kohteiden, kuten rakennusten kallistusvirheitä. (Marko Ahola 2013.)

3 Rakennusten vektorointi

Räystääslinjojen tulkintaan laserkeilausaineistosta käytettiin Microstation ohjelmaa. Microstationissa segmentointiin käytettiin Terra Solidin Vectorize Building Macroa, joka muodostaa räystääslinjat automaattisesti. Räystääslinjat saadaan vektorimuotoon seuraavalla tavalla.

Ohjelmalla avataan samanaikaisesti pistepilvi ja ortokuva. Luokittelulla aineistolla saadaan informaatiota kohteista niiden korkeuden perusteella. Ohjelma poimii siis aineistosta pisteet, jotka kuuluvat luokkaan kuusi.



Kuvio 2. Luokittelematonta laserkeilausaineistoa.

Taulukko 2. Kuopion kaupungin käyttämä laserpisteaineiston luokitus

Pisteluokka	Kuvaus
2 - Maanpinta	maanpinta
3 - Matala kasvillisuus	< 0.25 m maanpinnasta
4 - Keskik. kasvillisuus	0.25 - 2.00 m maanpinnasta
5 - Korkea kasvillisuus	> 2.00 m maanpinnasta
6 - Rakennus	rakennuksen kattopinta
7 - Virhepiste	piste maanpinnan alapuolella
9 - Mallin avainpiste	
10 - Silta	silta
11 - Vesi	järvi, lampi tai oja
12 - Reunapiste	piste lentolinjan reuna-alueelta
15 - Yksinäinen piste	piste jonka lähetyksillä ei ole muita

Pistepilvi on luokiteltu Terratec Oy:n toimesta, käyttäen edellä esitettyä luokitusta. Kun luokittelu on tehty, muodostaa ohjelma räystäslinjat automaattisesti. Ohjelman muodostamat linjat eivät välttämättä ole vielä käyttökelpoisia, vaan niitä täytyy muokata käsin. Tämä tehdään ilmakuvasta tulkiten. Virheitä aiheuttaa esimerkiksi puusto sekä muu korkea kasvillisuus.

Rakennusten räystäslinjojen segmentoitumiseen vaikuttaa myös rakennuksen koko. Jos rakennus on hyvin pieni, ei ohjelma ymmärrä rakennusta. Tällöin ohjelman asetuksia täytyy muuttaa rakennuskohtaisesti. Rakennus ei aina vektoroidu, olivatpa asetukset mitkä hyvänsä. Puuston vaikutus on myös suuri, sillä ohjelma tarvitsee riittävästi kattopisteitä muodostaakseen räystäslinjan. Pisteiden määrää vähentää myös mustat huopakatot, joista laserpulssi heijastuu takaisin huonosti. Arviolta kolmasosa rakennuksista piti tarkastella ja luokitella käsin uudestaan, jotta tarpeeksi laadukas lopputulos saatiin aikaiseksi. (Marko Ahola 2013)



Kuvio 3. Luokiteltua pistepilvää.

4 Tutkimus maastossa

Maastotutkimus aloitettiin toukokuussa 2013. Tutkimusta varten vuokrattiin mittauksiin tarvittava laitteisto ja auto työmaalle kulkua varten. Mittalaitteistona käytettiin GeoMax Total Station ZTS600 sarjan robottitakymetria. GeoMaxilta ei vuokrattu GPS- laitetta, vaan mittauksissa käytettiin kaupungin omaa Leica 1200 GNSS- reppulaitetta. Mittaukset tehtiin Leican Smartnet RTK tukiasemaverkossa. Käytössä oli myös VRS- lisenssi. Takymetrin robottiominaisuutta ei päästy täysin hyödyntämään, vaan datan siirto laitteesta toiselle tapahtui korttia vaihtamalla.

4.1 Maastokatselmus

Tutkimus aloitettiin toimistolla pidetyllä palaverilla, jossa käytiin kaupungin laskijan kanssa läpi kokonaisuus, joka kaavamuutoksen vuoksi tuli kartoittaa. Samalla käytiin läpi rajapyykit, jotka tuli kartoittaa mittausten yhteydessä. Sain siis käsiini tiedoston, joka sisälsi olemassa olevien rajapyykkien koordinaatit, sekä tulostetut ilmakuvat alueesta.

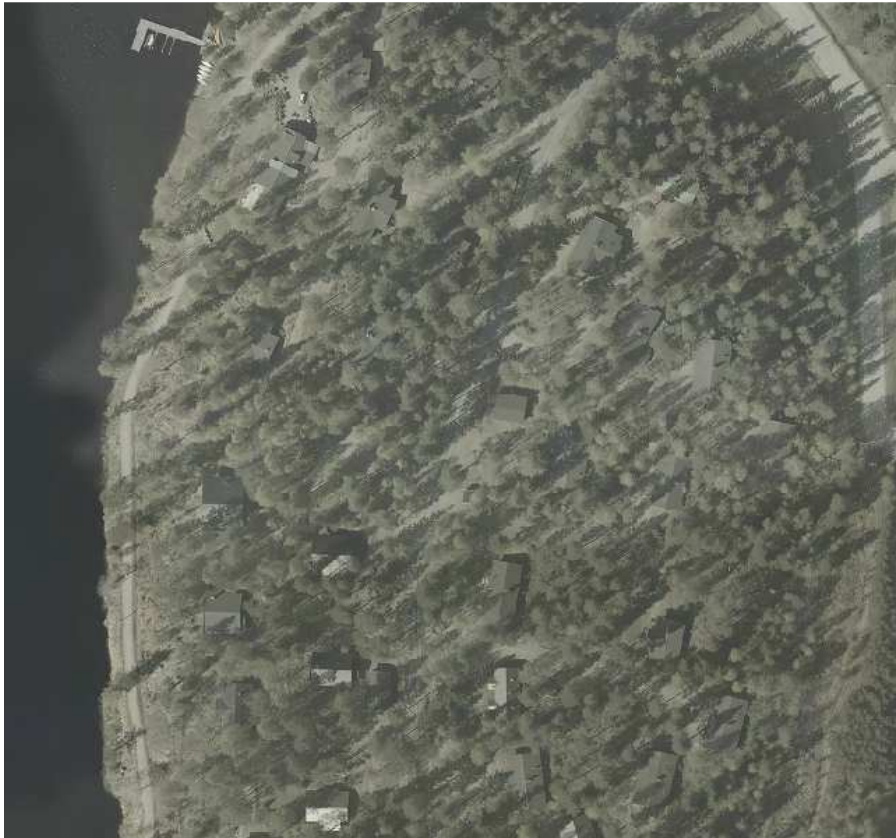
Palaverin jälkeen suoritettiin maastokatselmus, jossa alue käytiin kiertämässä, ja tehtävän työn määrä tulkittiin yleisesti. Mittaukset aloitettiin jo samana päivänä kun katselmus oli tehty.

4.2 Mittausten aloitus

Kartoitettu alue sisältää yli sata rakennusta ja yli 400 rajapyykkiä. Alussa täytyi pohtia, mistä päästä kartoitettavaa aluetta tulisi lähteä liikkeelle. Mittaukset päädyttiin aloittamaan alueen pohjoispäästä. Tämä alue osoittautui kuitenkin mittausteknisesti kaikkein haastavimmaksi.

Alueesta teki haastavan sen puiden peittävyys sekä jyrkät pinnanmuodot. Alue sijaitsee loivassa mäessä, jonka toisella puolella on jyrkkä laskettelurinne. Tähän yhdistettynä puiden peitteisyys, oli satelliittipaikannus alussa hankalaa. Takymetria orientoitaessa oli suuntia haettava kaukaa, ja tunnetulle asemapistelle asemointeja tuli runsaasti. Asemoitaessa tunnetulle asemapistelle ketjuittain se huonontaa orientoinnin tarkkuutta, sillä asemoinneissa tulleet virheet kertaantuvat orientointeja eteenpäin vietäessä. Pidin rajana

kolmea peräkkäistä tunnetulle liitospisteelle asemointia. Tällöin orientoinnissa syntyvä virhe pysyi siedettävänä ja kontrollissa.



Kuvio 4. Ilmakuvaa alueen puiden peittävydestä (Kuopio kaupunki 2012)

Alueen alkupään rakennukset olivat poikkeuksetta hirsimökkejä. Rakennukset mitattiin siten, että niistä mitattiin tarvittavat päälinjat, jolloin jälkilaskeminen toimistolla on mahdollista. Talot kierrettiin myös mittanauhalla ja niistä piirrettiin kuvat, joiden perusteella jälkilaskennan tuloksia tarkastettiin. Alueen pohjoispään rakennusten mittaus jatkui kesäkuun puoleen väliin, jolloin tutkimuksessa pidettiin pieni tauko

4.3 Mittausten jatko

Tutkimusta jatkettiin satunnaisina päivinä heinäkuussa. Rakennuksia sekä rajapyykkeitä tuli kartalle alkua nopeammin, sillä alueen eteläpuoli oli mittaus-teknisesti huomattavasti helpompi. Puusto on eteläpuolella harvempaa ja rinne, jossa rakennukset sijaitsevat, on loivempi. Rakennukset eivät ole hirsi-rakenteisia, vaan niiden nurkat sai mitattua suoraan, eikä niitä tarvinnut erikseen laskea.

Tutkimusta päästiin jatkamaan Tahkolla taas kokoaikaisesti elokuussa. Tälöin käytössä oli Leican Viva kalusto, joka vapautui käyttöön muun henkilöstön ollessa lomalla. Elokuun loppuun mennessä olin saanut mitattua suurimman osan alueen rakennuksista sekä rajapyykeistä.

Elokuun lopussa otettiin työn alle uusi alue, jonka rajapyykkien sijaintitieto on erilaisten kunnallisten toimenpiteiden vuoksi tärkeää. Alueelta mitattiin myös rakennuksia, jotka otettiin mukaan tutkimukseen.

Alueen rakennukset poikkesivat huomattavasti ensimmäisen alueen rakennuksista. Tämä oli tutkimuksen kannalta hyvä asia, sillä suuremmilla rakennuksilla on luonnollisesti suuremmat räystäslinjat. Näin tutkittavasta keskikavennuksesta tulee yleispätevämpi. Tämä toisaalta myös huonontaa tarkkuutta, mikäli kavennusta halutaan hyödyntää pelkästään pienempien rakennusten sijainnin määrittämiseen.

4.4 Mittausten lopetus

Mittaukset olivat valmiit syyskuun puolivälissä. Työ maastossa loppui siis muutama viikko etuajassa. Lopussa tehtiin vielä katselmus, onko kaikki raja-merkit varmasti mitattu, ja onko kaikki haluttavat rakennukset saatu kartoitettua.

4.5 Räystäslinjat

Alussa oli tarkoitus, että suurimmasta osasta rakennuksia kartoitetaan myös räystäslinjat. Räystäslinjoja ei kuitenkaan mitattu kuin noin puolesta rakennuksista. Räystäslinjojen mittaus oli lähinnä todistelua laserkeilausaineistosta vektoroitujen räystäslinjojen sijainnin paikkansapitävyydestä.

5 Kavennuksen tutkimus

Kun aineisto oli saatu täydellisesti laskettua, oli vuorossa tutkittavan keskikavennuksen laskenta. Kavennus laskettiin käyttäen 3d-win maanmittausohjelmistoa, sekä excel taulukkolaskentaohjelmaa. Ensin tehtiin tiedosto, joka sisälsi pelkästään mitattujen rakennusten seinä-, ja katoslinjat. Tällöin rakennuksista oli siistitty pois kaikki ylimääräiset pisteet, kuten räystäät.

Seuraavaksi mukaan otettiin tiedosto, joka sisälsi laserkeilausaineistosta vektoroidut räystäslinjat. Tämän jälkeen muodostettiin ohjelman laskentatyökalua käyttäen listaus, joka sisälsi rakennusten mitatun datan, sekä teoreettisten räystäslinjojen eromitat, keskiarvon sekä keskihajonnan.

Taulukko 3. 3D-win ohjelman antama laskentaraaportti suurten rakennusten vektoroitujen räystäsnurkkien, sekä mitattujen nurkkapisteiden eromitoista.

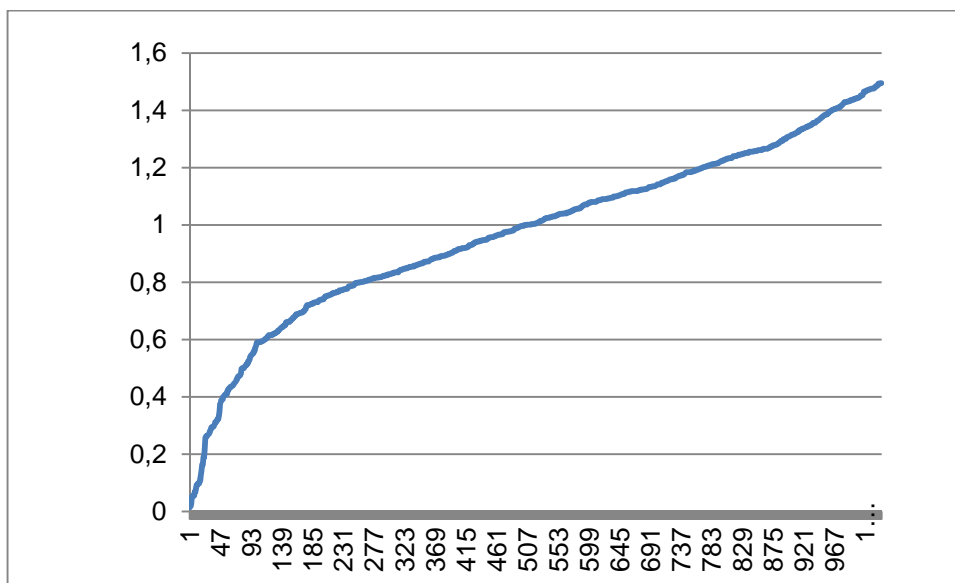
	X(m)	Y(m)	dist(XY)(m)
Min	-1,407	-1,412	
Max	1,449	1,471	
Keskiarvo	0,596	0,691	0,975
Keskihajonta	0,685	0,759	0,31

Aineistosta eroteltiin pois pienet, alle 50 neliömetrin rakennukset. Pienemmille rakennuksille laskettiin oma keskikavennus. Tämä toimenpide tehtiin siksi, että pienet rakennukset sekoittivat kavennusta. Jos pienemmät rakennukset olisi otettu mukaan laskutoimitukseen, se olisi pienentänyt kavennusta. Pienempien rakennusten seulominen pois oli perusteltua myös siksi, että Microstation ohjelmassa käytetty Terra Solidin Vectorize Building Macro ei tunnistanut kaikkia pieniä rakennuksia. Pienempien rakennusten erottaminen ilmakuvasta myös silmin on helppoa.

Pienempiä rakennuksia oli aineistossa kaiken kaikkiaan kymmenen. X:n ja Y:n eromittojen keskiarvoksi muodostui 58,8 cm ja keskihajonnaksi 12,8 cm. Joukon pienin eromitta on 28,9cm ja suurin 85,7 cm.

Seuraavaksi tutkittiin, onko joukkoa syytä karsia lisää. Tuloksia täytyy punnita siltä kannalta, halutaanko keskikavennuksesta muodostaa yleispätevä vai tiettyä rakennustyyppiä palveleva. Mikäli kavennuksessa käytetään koko joukkoa, tulee kavennuksesta yleispätevämpi eli sitä voidaan käyttää monimuotoisemmin eri alueilla. Tämä johtuu siitä, että joukossa on mukana niin pienempiä kuin suurempia rakennuksia.

Jos kavennuksesta halutaan mahdollisimman tarkka kuvaamaan tiettyä rakennustyyppiä, tulee aineistoa karsia. Aineistoa voidaan karsia esimerkiksi joukon keskihajonnan perusteella.



Kuvio 5. Maastossa mitattujen rakennusten, sekä laserkeilausaineistosta vektoroitujen teoreettisten räystäsnurkkien eromittojen keskiarvot viivadiagrammimuodossa.

Yllä olevasta diagrammista huomataan, että viivan kulmakerroin on pienimmillään välillä 0,8-1,3 metriä. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseisellä välillä sijaitsee eniten arvoja. Mikäli lukujoukosta jätetään pois kaikki muut arvot, ja lasketaan keskiarvo välillä 0,8-1,3m sijaitsevista luvuista, saadaan arvoksi 1,047 metriä. Mikäli tätä arvoa käytettäisiin, saataisiin sopiva kavennuskerroin runsaasti katoksia sisältäville lomahirsirakennuksille. Koska tutkimuksessa pyritään saamaan aikaan yleispätevämpi kavennuskerroin, käytetään arvona koko joukon keskiarvoa.

5.1 Mitattujen sekä vektoroitujen räystäslinjojen yhteneväisyys

Tutkimuksen aikana mitattiin räystäslinjoja satunnaisista rakennuksista ympäri otosta. Mitattuja räystäslinjoja tuli noin kolmasosasta koko otoksen alueesta. Kaikkien räystäslinjojen mittaaminen maastossa ei ollut perusteltua, sillä mittauksilla pyrittiin saamaan yleiskuvaa, kuinka hyvin mitatut ja vektroidut räystäslinjat käyvät yhteen.

Taulukko 4. Tunnuslukuja maastossa mitattujen räystäspisteiden, ja laserkeilausaineistosta vektoroitujen räystäslinjojen eromitoista.

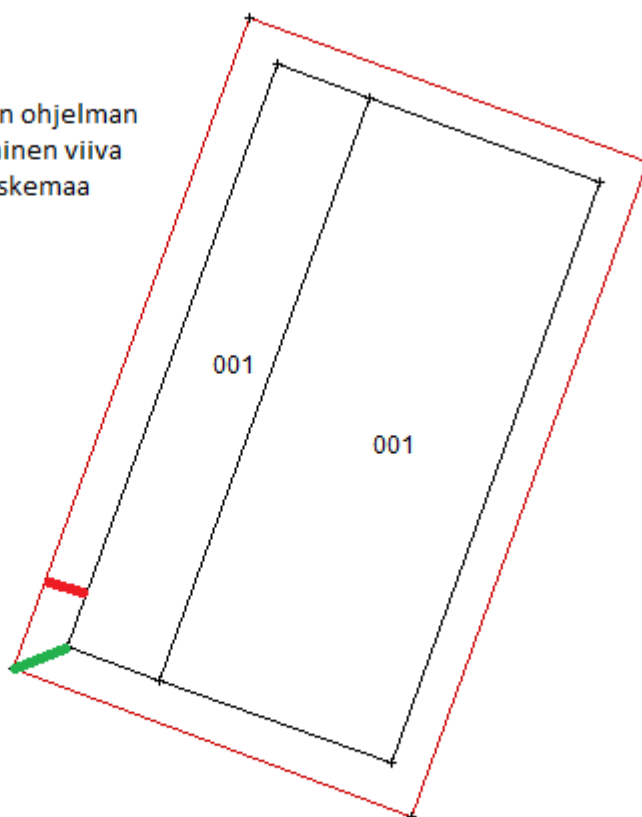
	X(m)	Y(m)	dist(XY)(m)
Minimi	-0,488	-0,435	0,007
Maksimi	0,412	0,43	0,495
Keskiarvo	0,025	0,002	0,19
Keksihajonta	0,166	0,139	0,106

Oletetaan, että maastossa mitattu räystään kulma vastaa todellisuutta. Aineiston eromittojen keskiarvo on 0,19 metriä. Tämä tarkoittaa sitä, että Vectorize Building Macro muodostaa todellisen räystäänkulman yhdeksäntoista senttimetrin keskitarkkuudella.

5.2 Muuntaminen käytettävään muotoon

Edellä mainitut eromitat ovat etäisyyksiä rakennuksen nurkasta räystään nurkkaan. Kavennusta ei voida tehdä tässä muodossa käyttäen Microstation ohjelmaa. Ohjelma laskee kavennuksen linjasta linjaan.

Kuvassa vihreällä 3d-win ohjelman laskema eromitta. Punainen viiva kuvaa Microstationin laskemaa kavennusta.



Kuvio 6. Vihreällä 3d-win ohjelman laskema eromitta. Punainen viiva kuvaa Microstationin laskemaa kavennusta.

Kavennus saadaan laskettua oikeaan muotoon Pythagoraan lauseella: $a^2 + b^2 = c^2$. Kun yli 50 neliömetrin rakennuksista laskettu keskikavennus lasketaan kaavan mukaan, saadaan arvoksi 0,689m. Pienempien alle 50 neliömetrin rakennusten keskikavennukseksi saadaan 0,416m.

5.3 Kavennuksen virhe

Keskikavennuksen virhe laskettiin samalla tavalla kuin kavennuskin. Tällä kertaa vertailtavina oli laserkeilausaineistosta vektoroidusta viivoista keskikavennuksella muodostetut viivat, sekä maastossa mitatut rakennusten nurkat. Eromittoja listattaessa hakukriteerinä käytettiin 1,5 metriä. Keskivirheeksi saatiin 0,53 metriä.

Taulukko 5. Eromittojen tunnuslukuja mitattujen rakennusten, sekä kavennettujen räystäslinjojen välillä.

	X(m)	Y(m)	dist(XY)(m)
Minimi	-1,477	-1,379	0,019
Maksimi	1,482	1,424	1,496
Keskiarvo	0,058	0,067	0,53
Keskihajonta	0,451	0,444	0,356

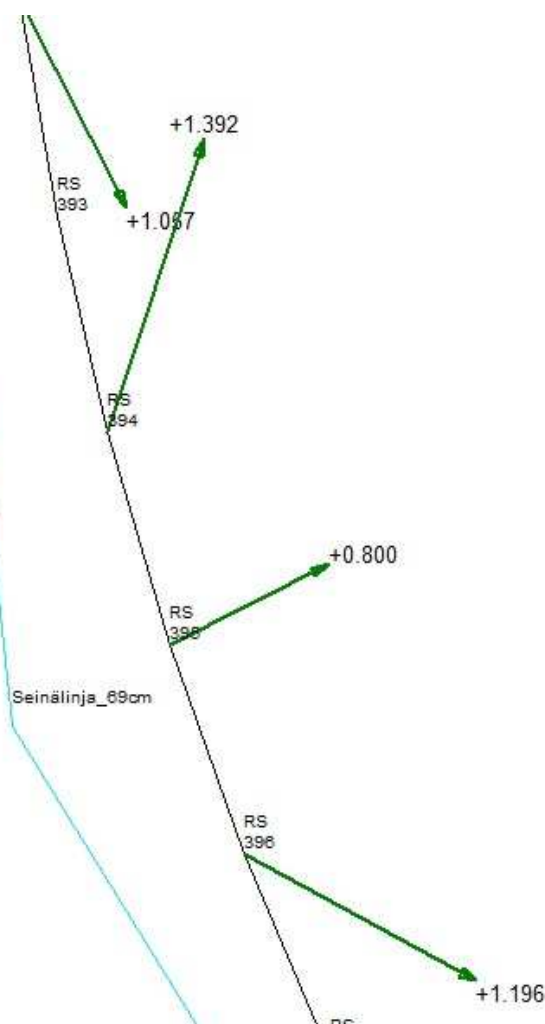
Yli puolen metrin virhe tuntui liian suurelta. Tässä vaiheessa tutkimusta oli mukana 102 rakennusta. Aineistoa tutkiessa, huomattiin 1,5 metrin olevan liian suuri hakukriteeri. Ongelmia tuli suurten rakennusten kaarevissa linjoissa. Ongelma johtui siitä, että 3d-win ohjelmalla lasketut, ja Microstationilla tuotetut pisteet eivät olleet samalla kohtaa kaarta.

Ongelma ratkaistiin pudottamalla hakukriteeri metriin. Näin keskivirheeksi saatiin 0,42 metriä. Tämäkin lukema tuntui suurelta verrattuna siihen, minkälaista tarkkuutta tutkimukselta odotettiin. Aineistoa lisää tutkimalla huomattiin, että käytetty keskikavennus soveltuu huonosti suurten rakennusten käyttöön. Tämä oli odotettua, ja ongelma ratkaistiin poistamalla suuret kerrostalorakennukset aineistosta. Otos supistui kahdeksalla rakennuksella. Kun tämä tehtiin, saatiin keskivirhe pudotettua 0,378 metriin. Tämä on arvona parempi, mutta silti enemmän mitä tutkimukselta odotettiin. Tarkkuus riittää kuitenkin kaavoitusmittausohjeet 2003 luokan 2 kartoitukseen.

Taulukko 6. Tunnuslukuja maastossa mitattujen, ja keskikavennuksella laskettujen räystäsmittojen eromitoista.

		X(m)	Y(m)	dist(XY)
Minimi		-0,929	-0,972	0,019
Maksimi		0,876	0,964	0,992
Keskiarvo		0,046	0,015	0,378
Keskihajonta		0,317	0,302	0,227

Kuvassa tilanne, jossa 3d-win ohjelmalla laskettujen kaaripisteiden, ja Microstationilla räystääslinjoista muodostettujen kavennuspisteiden epäkohdikkuus aiheuttaa virhettä keskivirheeseen.



Kuvio 7. Tilanne, jossa 3d-win ohjelmalla laskettujen kaaripisteiden, ja Microstationilla räystääslinjoista muodostettujen kavennuspisteiden epäkohdikkuus aiheuttaa virhettä keskivirheeseen.

5.4 Pienet rakennukset

Vaikka pienten rakennusten määrä aineistossa oli pieni, vain kymmenen rakennusta, oli nekin syytä tutkia. Pienten rakennusten tutkimuksessa käytettiin samoja työskentelytapoja kuin suurten rakennusten tutkinnassa.

Keskivirheeksi saatiin 0,196 metriä, mikä on tarkkuutena varsin hyvä. Tarkkuus on Kaavoitusmittausohjeet 2003:n mukaan luokkaa 1, mikä on tarkkuus, johon tutkimuksella pyrittiin pääsemään. Kuten mainittu, tutkittavien rakennusten määrä oli suppea, joten tulokset ovat karkeita ja vain suuntaa antavia. Kerrointa ei voida käyttää hyväksi tällaisenaan, vaan tutkimusta on syytä suorittaa laajemmin.

Taulukko 7. Tunnuslukuja pienten rakennusten mitattujen nurkkien, ja räystääslinjoista muodostetun keskikavennuksen eromitoista.

	X(m)	Y(m)	dist(XY)
Minimi	-0,434	-0,374	0,023
Maksimi	0,395	0,323	0,499
Keskiarvo	0,024	-0,001	0,196
Keskihajonta	0,185	0,145	0,128

6 Rakennusten pinta-alat

Tutkimuksessa selvitetään lentolaserkeilauksen hyödyntämistä rakennusvalvontamittauksissa. Kun mitattuja ja vektoroituja rakennuksia vertaillaan, saadaan selville räystääslinjoista kavennetun ja todellisen pinta-alan eroavaisuus. Rakennusvalvonnan mukaan luvassa oleva pinta-ala ei saa poiketa rakennetusta. Mikäli pinta- tai rakennusalassa ilmenee poikkeama, pitää rakennusvalvonnan tutkia, onko tarvetta toimenpiteisiin rakennuksen saattamiseksi luvamukaiseksi tai muutosluvan hakemiseksi (Sähköpostihaastattelu Ilkka Korhonen, rakennustarkastaja.) Mikäli vakiokavennuksen avulla määritetään rakennuksen sijainti, tulee olla tiedossa kuinka paljon pinta-ala heittää todellisesta keskimäärin.

Pinta-alojen vertailu tehtiin MapInfo- ohjelmalla. Ensin poimittiin Microstationilla tasot, jotka sisälsivät maastossa mitatut seinälinjat sekä vakiokavennuksella muodostetut seinälinjat. Tämän jälkeen tiedosto kirjoitettiin MapInfon ymmärtämään formaattiin. Seuraavaksi ohjelmalla suoritettiin kysely, jonka tuloksena saatiin rakennuksen pinta-alojen suhde prosentteina.

Pinta-aloihin muodostuva virhe on suhteellisen pieni. Keskimäärin eroa mitattujen ja keskikavennuksella laskettujen rakennusten välille tulee 2,2 prosenttia. Tuloksista ei voi päätellä, kumpaan suuntaan laskettu kavennus muuttaa pinta-alaa. Rakennuksia, joissa mitattu pinta-ala on pienempi kuin laskettu, on 59 prosenttia. Jäljelle jäävällä osalla laskettu ala on suurempi kuin mitatulla.

7 Loppupäätelmät

Tutkimuksessa oli kaiken kaikkiaan mukana yli 120 rakennusta. Rakennusten määrää tutkimuksessa karsi kuitenkin se, että Microstationissa käytetty makro ei kyennyt muodostamaan räystäslinjoja kaikista rakennuksista. Tähän vaikutti osaltaan puiden peittävyys ja rakennuksen pieni koko.

Tutkimuksella saavutettiin noin 38 senttimetrin keskivirhe, mikä on melko suuri. Tätä kavennusta voidaan käyttää etenkin tällä alueella, mutta myös muualla, missä rakennuskanta on samantapaista mitä tutkittavalla alueella. Pienten rakennusten osalta virhe oli paljon pienempi, vain 19 senttimetriä. Tätä lukemaa ei voida pitää kuitenkaan millään tavalla luotettavana johtuen otoksen pienestä koosta. Tutkimuksen tuloksia voidaan siis käyttää Kaavoitusmittausohjeiden mittausluokan 2 mukaisessa sijainninmäärittämisessä.

Taulukko 8. Määrittämissuorituksen pistekeskivirhe eri mittaluokilla. Lukuarvot ovat metrejä. (Kaavoitusmittausohjeet 2003)

Mittausluokka	1e	1	2	3	
				(1:2000)	(1:5000)
Kohde					
Rakennuksen					
-seinälinja	0,15	0,3	0,5	1,5	3
-yksityiskohta	0,15	0,5	1	1,5	3

Tutkimuksessa toivottiin päästävän luokan 1e, tai 1 mukaiseen pistekeskivirheeseen. Tutkimus kuitenkin osoittaa että tällä välineistöllä ei tähän tarkkuuteen ole mahdollista päästä. Tutkimuksessa päästiin mittausluokan 2 mukaiseen mittaustarkkuuteen. Lopputulos olisi ollut todennäköisesti parempi, mikäli otos olisi valittu aukeammalta alueelta, eikä puiden peittävyys olisi muodostunut ongelmaksi. Tutkimuksen tarkkuutta huonontaa myös se, että rakennusten räystäät eivät ole välttämättä saman levyiset kaikilla seinälinjoilla. Tutkimuksessa käytetty ohjelmisto laskee kavennuksen jokaiselle linjalle samaksi.

Tutkimus tehtiin osittain sen vuoksi, että saadaa tietoon voidaanko tällä keinolla täydentää kartaston puutteita kuntaliitosten yhteydessä. On tehty päätös, että Maaninka liittyy Kuopioon vuonna 2015 alusta. Tutkimuksen tuloksia halutaan siis hyödyntää tämän kuntaliitoksen yhteydessä. Maaninka on maa-

seutua, ja puut kuuluvat oleellisesti maalaismaisemaan. Tämän vuoksi tutkitavan alue oli tarkoitukseen juuri oikeanlainen. Tutkimuksesta saatiin selville, ettei ole mahdollista muodostaa yleispätevää kavennusta, missä mukana on myös huomattavan suuria rakennuksia. On selvää, että suurissa rakennuksissa myös räystäävät ovat suurempia mitä pientaloissa.

Kaavoitusmittausohjeiden määrittelyn pistekeskivirhe taulukossa on rakennukset jaoteltu seinälinjoihin, ja yksityiskohtiin. Yksityiskohtia ovat esimerkiksi katokset. Tutkimuksessani seinälinjat ja katokset olivat kummatkin käytännön syistä mukana pistekeskivirhettä laskettaessa.

Rakennusten pinta-ala saadaan kavennusta käyttäen tietoon varsin tarkasti. Menetelmällä saatu kokonaispinta-alaa voidaan hyödyntää rakennusvalvonassa lähinnä suurien heittojen osalta. Rakennuksen pinta-alan tulee olla juuri sama, mitä rakennusluvassa edellytetään.

Voidaan todeta, että lentolaserkeilaus vähentää mittajaan maastossa käyntiä. Voi olla, että tulevaisuudessa tutkitulla keinolla päästään vielä parempaan tarkkuuteen sovellusten kehityttyä. Laserkeilauksesta saadaan aineistoa myös rakennusten seinälinjoilta. On siis todennäköistä, että tulevaisuudessa keilausaineiston käsittelyyn suunnitellut ohjelmat pystyvät hyödyntämään näitä pisteitä paremmin. Näin rakennukset saadaan piirrettyä tapauskohtaisesti oikean muotoiseksi. Näin ollen mittaja suorittaa maastossa lähinnä vain kontrollimittauksia.

Lentolaserkeilaus tulee yleistymään tulevaisuudessa. Aineiston käyttötaito lisääntyy koko ajan, mitä enemmän laserkeilauksia suoritetaan. Vaikka lentolaserkeilaus on varsin suuri investointi, on se järkevästi toteutettuna edullinen tapa hankkia paikkatietoa. Etenkin jos aineisto hankitaan yhteistyössä eri tahojen kanssa tai sitä myydään eteenpäin.

Lähteet

- Ahola, M. Kuopion kaupungin paikkatietoasiantuntija haastattelu 22.10.2013
- Blom, uutiskirje. 2010. Tanska kolmiulotteisena. Osoitteessa http://newsletter.blomasa.com/newsletter/2010/september/finland/september_fi_2.htm 13.11.2013.
- Geotrim, esite. Mobiilikartoitus. Osoitteessa http://www.geotrim.fi/wp-content/uploads/2011/11/Mobiilikartoitus_esite.pdf 13.11.2013
- Haggrén, H 2002, Luento 9: Uudet 3-D kartoitustekniikat. Osoitteessa http://foto.hut.fi/opetus/220/luennot/9/L9_2005.pdf 13.11.2013
- Hyypä, H – Hyypä, J. 2007. Kansallisen laserkeilauksen mahdollisuudet. Maankäyttö 1/2007. 6-8.
- Joala, Vahur. Laserkeilaimien toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Maanmittaus-tieteiden Seuran julkaisu 40 – Maanmittaustieteiden päivät 2003.
- Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Osoitteessa http://www.jhs-suositukset.fi/c/document_library/get_file?uuid=3734e445-0c58-4a2f-8909-49988895e7d0&groupId=14. 21.10.2013
- Ketonen, M. 2 Kantakartan korkeuskäyrien tuottaminen pistepilviaineistosta. Opinnäytetyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu: Maanmittaus-tekniikan koulutus-ohjelma.
- Korhonen, I. Kuopion kaupungin rakennustarkastajan sähköpostihaastattelu 9.10.2013.
- Korpela, H. Laserkeilaus kannattavampaa käytön yleistyessä. Maankäyttö 2/2008. 36-39.
- Kunnat.net, Kuntaliitokset. Osoitteessa <http://www.kunnat.net/fi/palvelualueet/kuntaliitokset/Sivut/default.aspx> 12.11.2013.
- Kuopion kaupunki 2012, tarjouspyyntö. Kuopion, Siilinjärven ja Nilsian laserkeilaus 2012.
- Lampinen, J. 2011. Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan mittaus- ja suunnittelutoimessa. Opinnäytetyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu: Maanmittaustekniikan koulutus-ohjelma.
- Lehtonen, P. 2013. Suomalainen laserkeilaus on maailman huippua. Maankäyttö 2/2013.
- Lehtonen, P. 2010. Terrasolid toimii maailmanlaajuisesti. Maankäyttö 4/2010, s 11-13.

- Leica, esite. Leica ALS70-HP laserkeilain. Osoitteessa www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/ALS70/product-specification/ALS70_HP_ProductSpecs_en.pdf
- Leica, esite. Leica RCD30 kamera. Osoitteessa http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/RCD30/brochures-datasheet/Leica_RCD30_DS_en.pdf
- Maanmittauslaitos. 2003. Kaavoitusmittausohjeet. Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 94. Maanmittauslaitoksen karttapaino, Helsinki.
- Maanmittauslaitos. 2013. Laserkeilaustekniikka. Osoitteessa <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>. 21.10.2013
- Nilsin kaupunki 2010. Asemakaavan muutos kortteleissa 122 ja 123 Kaavaselostus, ehdotus.
- Nilsin kaupunki. Ympäristölautakunta pöytäkirja 5/12. Osoitteessa <http://nilsia.tjhosting.com/kokous/2012241.PDF> 13.11.2013
- Matikainen, L. 2009. Rakennusten automaattinen tunnistus ja muutostulkinta laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistoista. Maankäyttö 3/2009.
- Ruuskanen, S. 2010. Ilmasta käsin suoritettavan laserkeilaushankkeen prosessikuvaus konsulttiyrityksessä. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu Maanmittaustekniikan koulutusohjelma
- Rönholm, P – Haggrén, H. 2004. Fotogrammetrian yleiskurssi, Luento 10: Optinen 3-D mittaus ja laserkeilaus. Osoitteessa http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/301_10_2004.pdf. 21.10.2013
- Terrasolid, esite. Teksturoitu kaupunkimalli viistokuvien avulla. Osoitteessa http://www.kuopio.fi/c/document_library/get_file?uuid=d4ba0c7c-92fd-4a4a-9445-5f360238b5b7&groupId=12117 21.10.2013
- Terratec, 2012. Kuopion, Siilinjärven ja Nilsin laserkeilaus 2012 loppuraportti.